

---

Abstract

**Kinematical Characteristics of the Forehand Volley in Tennis**  
— An Analysis of the Center of Gravity in the Player's Motion and Racket's Movement with VICON-MX —

Atsushi Iwamoto

Since the techniques of the forehand volley in tennis are often instructed rather expediently in spite of the fact that it is one of the most difficult strokes, it is necessary to develop systematic ways of instruction. For this purpose, this study analyzed the basic forehand volley motion of an athletic player in detail with VICON-MX and made the kinematics of the forehand volley clear.

In analyzing the motion, the target line and the ball-feeding line were set in the Y-axis of the space coordinates to capture Kinematic characteristics of the center of gravity in the player's motion and racket's movement exactly.

The results of this study are : 1) the whole characteristics of the player's motion can be explained depending on the X-component, Y-component, and Z-component of the player's center of gravity, while those of the racket's movement can be explained depending of the X-component, Y-component, and Z-component of the racket's center of gravity. 2) Two fundamental phases are observed in the phenomena of the forehand volley stroke : 'Pre-Impact' phase from 'Ready Position' to 'Impact', and 'Post-Impact' phase from 'Impact' to 'Right Toe Contact.' 3) The player's motion has a characteristic of closing in the Y-axis first and then moving forward before 'Impact,' and the racket's movement has a characteristic of being stationary on the frontal plane before 'Impact' and then moving forward prominently at 'Impact.'

Keywords : Tennis, Forehand Volley, Center of Gravity, Player, Racket

【キーワード】 テニス, フォアハンド・ボレー, 重心, プレーヤー, ラケット

## VICONシステムを用いたフォアハンド・ボレーの要領の基本性の解明 —— プレーヤーの身体重心の移動およびラケット重心の移動の分析 ——

岩本 淳

### 【目的】

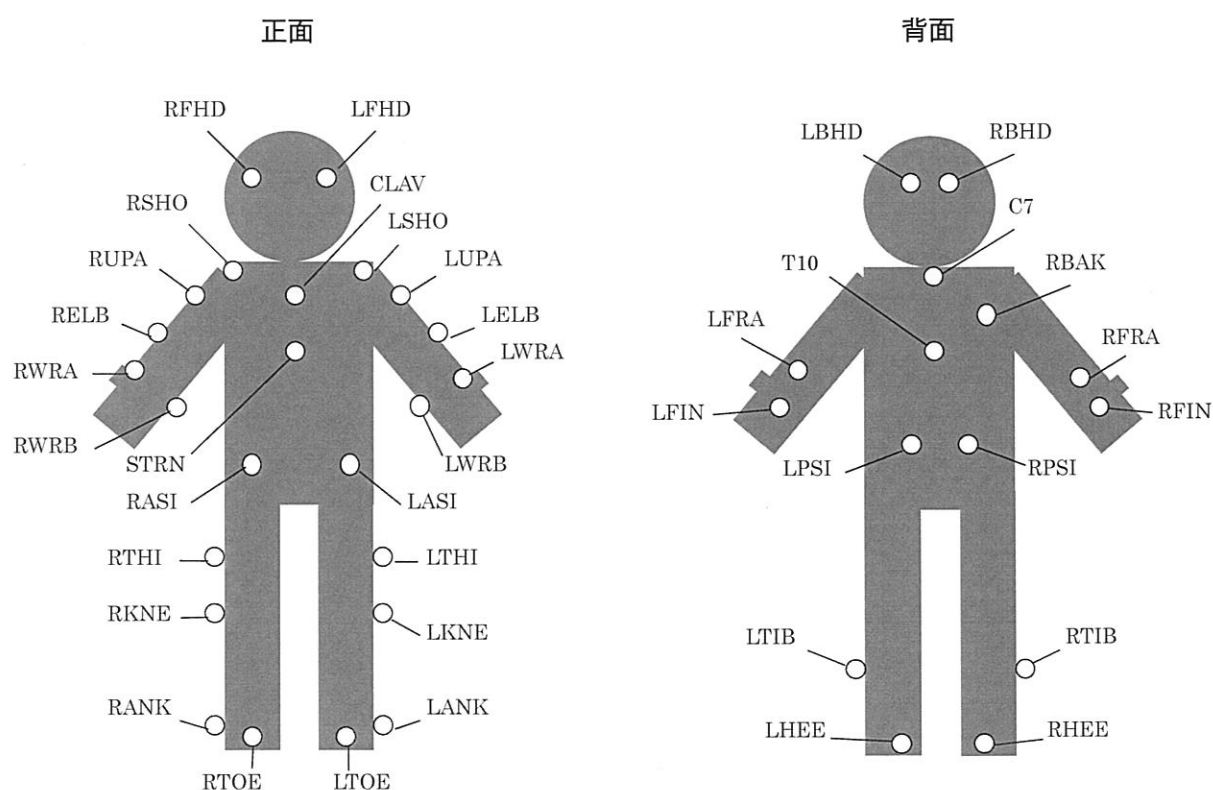
テニスのフォアハンド・ボレーは、習得の難しいストロークである。その要領は便宜的に解説されることが多いことから、これに運動学的な基本性を備えさせられれば効果的な習得が期待できる。しかし、フォアハンド・ボレーに関する動作解析の研究はあまり行われてはおらず、それゆえ、プレーヤーの身体重心やラケット重心に関する知見は少ない。その要領には、重心に関する視点からの基本性が備えられているとは言い難い。

本研究は、ボールの飛来する方向と打球目標の方向を1つに規定した課題についての3次元動作解析によって、プレーヤーの身体重心の移動の特徴とラケット重心の移動の特徴をまとめ、それら重心の移動における関係性を捉えて、フォアハンド・ボレーの要領の基本性を解明した。

### 【方法】

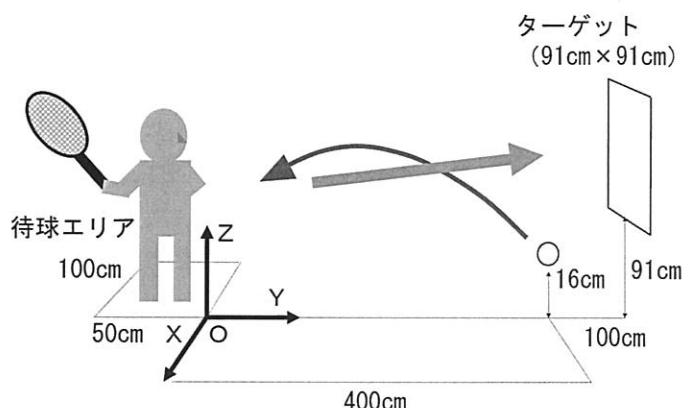
フォアハンド・ボレーの3次元動作解析には、岩手県立大学マルチメディアラボ室にあるインターリハ(株)VICON—MX（以下、「VICON」とする。）を使用した。解析の対象とした試技者は、I県々大会出場水準の上級男性プレーヤー1名であった。試技者に身体重心の算出が可能であるPlug-In-Gaitのマーカ・セットを装着して（図1）、テニス用具にワークスペースにおいてその位置情報を得るためのマーカ

図1 Plug-In Gaitのマーカ・セット



を取り付けた。すなわち、ラケット（ウィルソン社EZテニス17）の重心の位置にVICONの撮影用マーカ（直径22mm）1個を取り付けて、ボールの表面に撮影用マーカと同素材の反射材（15mm×15mm）を貼り付けた。試技者の動作を撮影するために用いたカメラの台数は6台であり、その撮影速度は毎秒100コマであった。フォアハンド・ボレーの課題は、座標Y軸となる位置にボールを射出するトスマシン（JAGGS社A0601）を配置し、同様に、座標Y軸となる位置に配置したターゲット（自作91

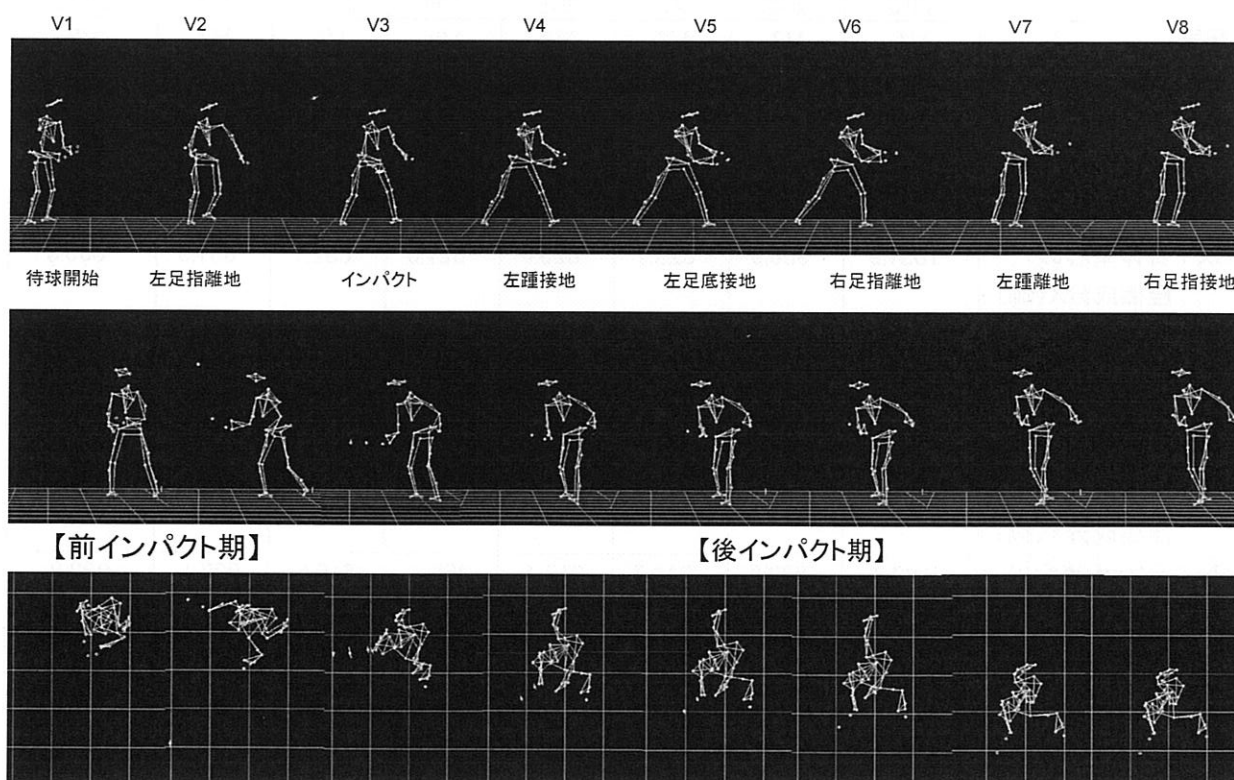
図2 フォアハンド・ボレーの課題の模式図



cm×91cm)を狙って打球させる課題とした（図2）。詳細には、ターゲットはVICONの分析ウィンドウ（以下、「ワークスペース」とする.）における座標原点となるところからY軸方向に5m離れた位置に設置し、その下辺は床から0.91mの高さとした。そして、トスマシンはY軸方向に4m離れた位置に設置した。試技者に、トスマシンから射出されるボール（ブリヂストン社Potential）を、ターゲットを狙って打球させた。試技者の待球する位置は、ワークスペース上の原点の直ぐ後ろ、かつ、ターゲットに向かって左側とした。その際に、「撮影が始まるまで、X軸とY軸を踏みこさない。」ように、指示を与えた。トスマシンからボールが射出される手順としては、その動作音を情報として試技者に与えることとした。すなわち、ボールをセットしない状態で、トスマシンを動作させて空の射出を行って機械音を鳴らし、引き続き、作動するトスマシンの中にボールを配給する手順とした。

フォアハンド・ボレーの主要な事象は、ワークスペースに表示される3次元ピクチャによって判定した（図3）。まず、プレーヤーの身体重心の移動の特徴を明らかにするため、プレーヤーの身体重心の座

図3 フォアハンド・ボレーの8つの事象と2つの期間



座標成分X（以下、「Cx」とする.）、座標成分Y（以下、「Cy」とする.）、座標成分Z（以下、「Cz」とする.）を求めた。同様に、ラケット重心の移動の特徴を明らかにするため、ラケット重心の座標成分X（以下、「Rx」とする.）、座標成分Y（以下、「Ry」とする.）、座標成分Z（以下、「Rz」とする.）を求めた。それらのグラフを作成して、Cx, Cy, Czからはプレイヤーの身体重心の移動における全体的な特徴を、また、Rx, Ry, Rzからはラケット重心の移動における全体的な特徴を、それぞれまとめた。そして、主要な事象の1つ「インパクト」によって、重心の座標成分の詳細な分析のための期間、【前インパクト期】と【後インパクト期】を設定した。フォアハンド・ボレーの【前インパクト期】と【後インパクト期】の両期間における、プレイヤーの身体重心の座標成分の変位とラケット重心の座標成分の変位についての関係性を明らかにした。また、これらの特徴や関係性を俯瞰して、要領の基本性を示唆する視点をまとめた。

## 【結果】

試技者のプロフィールについて、身長は191.6cm、体重は95.8kg、利き腕側は右側、年齢は43才、性別は男性、そして、テニスの競技歴は25年であった。座標空間における座標X軸は水平方向、かつ、ターゲットに向かって右手の向きであった。そして、座標Y軸は矢状方向、かつ、ターゲットに向って前向きであった。また、座標Z軸は鉛直方向、かつ、上向きであった。

まず、動作の主要な事象（資料1-8）と期間についての詳細を記す（表1）。主要な事象は順に「待球開始」、「右足指離地」、「インパクト」、「左踵接地」、「左足底接地」、「右足指離地」、「左踵離地」、そして、「右足指接地」であった。また、動作の解析を詳細に行うために設けた期間である、「待球開始」から「インパクト」までの「前インパクト期」のフレーム数は127フレームであり、また、「インパクト」から「右足指接地」までの「後インパクト期」のフレーム数は94フレームであった。

続いて、フォアハンド・ボレーの主要な事象におけるプレイヤーの身体重心の座標成分の変位について記す。Cxは、「待球開始」-1051.9mm、「右足指離地」-908.9mm、「インパクト」-829.7mm、「左踵接地」

事象	待球 開始	左足指 離地	インパ クト	左踵 接地	左足底 接地	右足指 離地	左踵 離地	右足指 接地
記号	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
フレーム番号	1350	1445	1477	1490	1495	1503	1564	1571
フレーム数	95	32	13	5	8	61	7	
期間	前インパクト期		—	後インパクト期				
Cx：身体重心の 座標成分X(mm)	-1051.9	-908.9	-829.7	-825.6	-827.5	-832.1	-851.9	-855.3
Cy：身体重心の 座標成分Y(mm)	-564.2	-558.4	-344.5	-175.9	-109.9	-101.6	321.2	339.7
Cz：身体重心の 座標成分Z(mm)	985.2	959.7	926.7	924.4	917.5	913.6	998.7	1005.7
Rx：ラケット重心の 座標成分X(mm)	-877.4	-190.0	-217.1	-403.7	-441.9	-489.9	-570.4	-569.0
Ry：ラケット重心の 座標成分Y(mm)	-180.8	-829.8	-246.7	317.4	455.7	616.6	927.1	932.8
Rz：ラケット重心の 座標成分Z(mm)	1095.4	1088.3	787.3	899.7	955.0	1047.6	1177.6	1158.3

表1 8つの主要な事象における座標成分の変位

－825.6mm, 「左足底接地」－827.5mm, 「右足指離地」－832.1mm, 「左踵離地」－851.9mm, そして, 「右足指接地」－855.3mmであった。Cyは, 「待球開始」－564.2mm, 「右足指離地」－558.4mm, 「インパクト」－344.5mm, 「左踵接地」－175.9mm, 「左足底接地」－109.9mm, 「右足指離地」－101.6mm, 「左踵離地」321.2mm, そして, 「右足指接地」339.7mmであった。Czは, 「待球開始」985.2mm, 「右足指離地」959.7mm, 「インパクト」926.7mm, 「左踵接地」924.4mm, 「左足底接地」917.5mm, 「右足指離地」913.6mm, 「左踵離地」998.7mm, そして, 「右足指接地」1005.7mmであった。一方, ラケット重心の座標成分の値を示す。Rxは, 「待球開始」－877.4mm, 「右足指離地」－190.9mm, 「インパクト」－217.1mm, 「左踵接地」－403.7mm, 「左足底接地」－441.9mm, 「右足指離地」－489.9mm, 「左踵離地」－570.4mm, そして, 「右足指接地」－569.0mmであった。Ryは, 「待球開始」－180.8mm, 「右足指離地」－829.8mm, 「インパクト」－246.7mm, 「左踵接地」317.4mm, 「左足底接地」455.7mm, 「右足指離地」616.6mm, 「左踵離地」927.1mm, そして, 「右足指接地」932.8mmであった。Rzは, 「待球開始」1095.4mm, 「右足指離地」1088.3mm, 「インパクト」787.3mm, 「左踵接地」899.7mm, 「左足底接地」955.0mm, 「右足指離地」1047.6mm, 「左踵離地」1177.6mm, そして, 「右足指接地」1158.3mmであった。

そして, 座標成分のグラフの波形の特徴について記す(表2, 図4-6)。Cxは「左足指離地」を前に増加し始めて, 「左踵接地」後に一定となる。Cyは「待球開始」から「左足指離地」までは一定, 「左足指離地」からは増加を示して, 「インパクト」付近でさらなる増加を示す。「右足指離地」の後は若干勢いを弱めるが, 「左足指接地」まで増加する。Czは僅かな変動であるが, 「左足指離地」を前に減少を始めて, 「インパクト」に向かって減少する。「インパクト」後に瞬間的に増加した後にさらに一段階減少する。その後, 「右足指離地」から「右足指接地」までは増加する。これらのことから, プレーヤーの身体重心の移動の全体的な特徴は, Czの比較的に小さな段階的変動の中で, Cxの増加に引き続いて生じる「インパクト」付近におけるCyの増加である。一方で, Rxは「左足指離地」を前に増加し始めて, 「左足指離地」から一定となる。その後, 「インパクト」直後から減少を示して, 「右足指離地」の後は一定となる。Ryは「左足指離地」を前に減少し始めて, 「左足指離地」と「インパクト」の間で最低値

事象	待球 開始	左足指 離地	インパ クト	左踵 接地	左足底 接地	右足指 離地	左踵 離地	右足指 接地
記号	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
フレーム番号	1350	1445	1477	1490	1495	1503	1564	1571
フレーム数		127			94			
期間		前インパクト期			後インパクト期			
Cx: 身体重心の 座標成分X		→↑			→			
Cy: 身体重心の 座標成分Y		→↑			↑↑			
Cz: 身体重心の 座標成分Z		→↓			↓↑→			
Rx: ラケット重心の 座標成分X		→↑→			↓→			
Ry: ラケット重心の 座標成分Y		→↓↑			↑↑			
Rz: ラケット重心の 座標成分Z		→↑↓			↑→			

表2 2つの期間における座標成分の変動の模式図



図4 重心の座標成分の変位とフォアハンド・ボレーの8つの主要な事象の関係

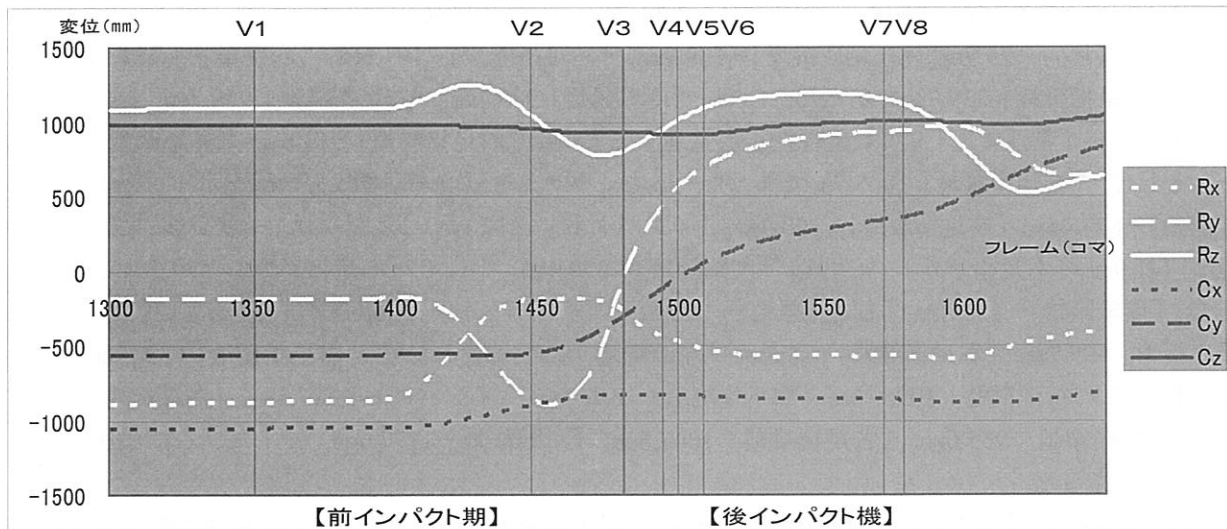


図5 プレーヤーの身体重心の座標成分の変位とフォアハンド・ボレーの8つの主要な事象の関係

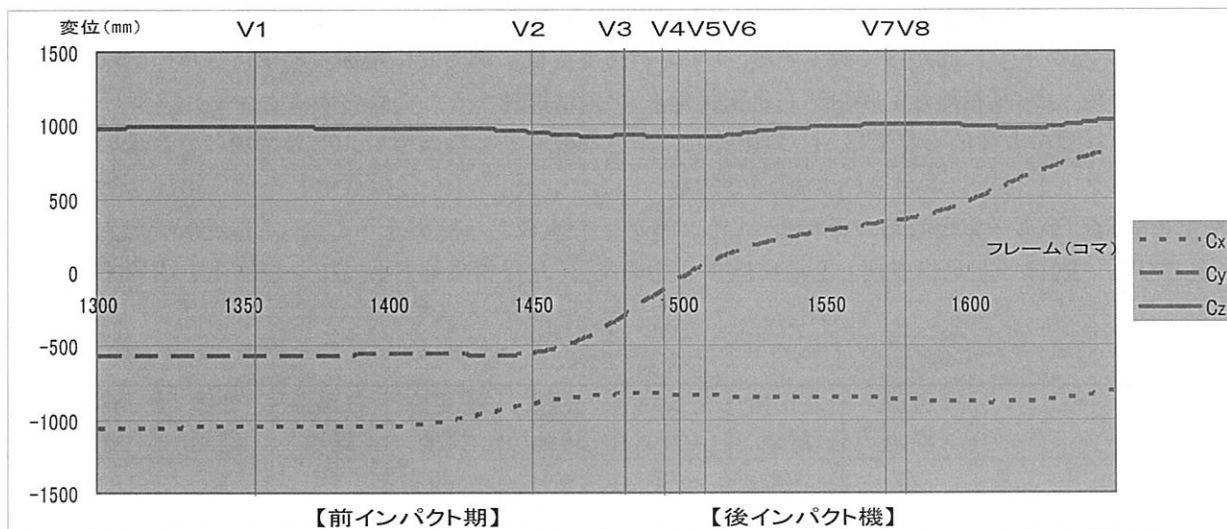
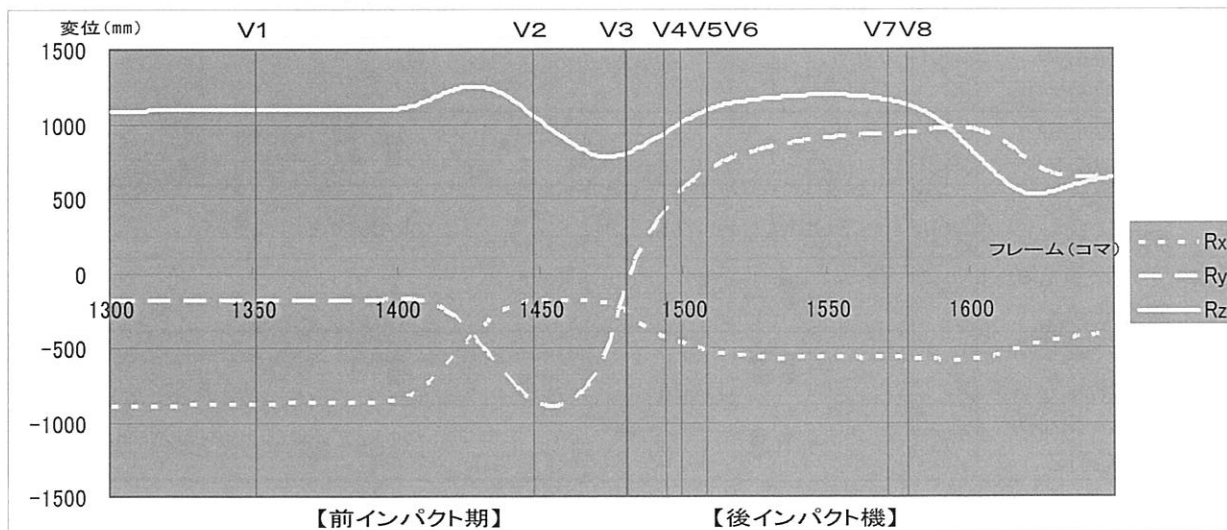


図6 ラケット重心の座標成分の変位とフォアハンド・ボレーの8つの主要な事象の関係



を示す。「インパクト」の前には急激な増加に転じて、「右足指離地」の後は勢いを弱めながら、「左足指接地」まで増加する。 $R_z$ は「左足指離地」を前に増加し始めて、「左足指離地」の前に最高値を示す。最高値を示してから減少に転じ、「インパクト」の前で最低値を示す。「インパクト」直後からは増加して、「右足指離地」の後はほぼ一定となる。これらのことから、ラケット重心の移動の全体的な特徴は、「右足指離地」前から「インパクト」まで $R_x$ の増加から一定、 $R_y$ の減少から増加、そして、 $R_z$ の増加から減少というそれぞれ様々の変動であり、「インパクト」直後からの同時的な $R_x$ の減少、 $R_y$ の顕著な増加、 $R_z$ の増加である。

また、【前インパクト期】と【後インパクト期】の両期間における、プレーヤーの身体重心の座標成分の変位とラケット重心の座標成分の変位との関係性について記す。【前インパクト期】の期間は、「待球開始」の後から「右足指離地」を前に、 $R_x$ の増加、 $R_y$ の減少、そして、 $R_z$ の増加が、同時に生じる。その後、まず $R_z$ が増加から減少に転じて、次に $R_x$ は最高値を示して一定となり、最後に、 $R_y$ は減少から増加に転ずる。また、「左足指離地」から「インパクト」までの $R_x$ の一定に対して $C_x$ の増加が続いて、「インパクト」直前には $C_y$ の増加やそれを上回る $R_y$ の顕著な増加が見られる。一方、【後インパクト期】の期間の特徴は、「インパクト」から、ほぼ一定の $C_x$ に対する $R_x$ の減少が見られる。そして、「インパクト」の後は $C_y$ の増加とそれを上回る $R_y$ の顕著な増加が見られる。また、「右足指離地」後は、 $R_y$ の減少の勢いと、 $C_y$ ならびに $R_y$ の増加の勢いが弱まる。「左足指離地」前には、全ての変位が一定となる。

## 【考察】

フォアハンド・ボレーは習得が難しい。ボールの飛来に掛かる時間が他のストロークに比べて短い上に、「合目的」的に動作を小さくするだけでは正確なインパクトのある水準の要領を習得するには至らない。さらに、指導の際には要領は便宜的に解説される傾向がある。効果的な習得を促すには可能な限り基本を重視した要領を指導することが望ましく、便宜的な解説は改善する必要がある。ところが、テニスに関するバイオメカニクスの研究自体が少なく<sup>1-7)</sup>、フォアハンド・ボレーの基本を何とするかを議論するための、拠りどころとなる知見は僅かである。

一方、バイオメカニクスの基本的な概念の一つには重心がある。重心とは、地球上における質量を代表する点であり、物体の運動の基礎的情報が得られるため、動作のメカニズムを解明するのに有用である<sup>8-10)</sup>。フォアハンド・ボレーについて、プレーヤーの身体重心の移動とラケット重心の移動についての特徴を明らかにして、それらの関係性を捉えることは、要領を基本の観点でまとめる有効な手段である。既に、「フォアハンド・ボレーにおける身体重心の移動の特徴<sup>11)</sup>」で、フォアハンド・ボレーの主要な事象における%体重重心高から、日常的な動作に比べて低い位置を、比較的大きく移動することを解明して、動作の区分立てにプレーヤーの足部とコートとの関係を重視すべきことを報告した。しかし、フォアハンド・ボレーはプレーヤーのコートにおける移動を伴う動作であることから、3次元動作解析による詳細な解明が必要と思われる。

予め、本研究で取り扱ったフォアハンド・ボレーの動作について、補足の説明をしたい。本研究では、インパクト付近にステップのあるフォアハンド・ボレーの動作を対象とした。インパクト付近に1つもステップがないフォアハンド・ボレーの動作も存在するが、それは課題の難易度がごく簡単な水準、もしくは、非常に困難な水準のどちらかと考えて、例外的なフォアハンド・ボレーと見なすことにした。ところで、ボールの飛来する方向へ打球の目標方向をとる課題として、それらを座標Y軸に規定したことから、重心の座標成分の変位の増加・減少を、ここでは標準的な方向によって表現する。すなわち、 $C_y$ と $R_y$ からは前後方向、 $C_x$ と $R_x$ からは左右方向、そして、 $C_z$ と $R_z$ からは上下方向と表現する。また、座標Y軸を「飛来・打球線」と表現する。

以下、次の3つの観点から考察を行う。すなわち、第1にプレーヤーの身体重心の移動、ならびに、ラケット重心の移動の全体的な特徴について、第2に「インパクト」によって区分された【前インパクト期】と【後インパクト期】の期間における、プレーヤーの身体重心の座標成分の変位とラケット重心

の座標成分の変位との関係性について、そして、第3にこれら特徴と関係性を俯瞰した、要領の基本性を示唆する視点について、である。

第1の、プレーヤーの身体重心の移動、ならびに、ラケット重心の移動について全体的な特徴を、考察する。プレーヤーの身体重心の移動は、上下、左右、前後全ての方向について、比較的に穏やかである。最も変位が大きいのは、前後方向である。左右方向はそれに次いで大きく、上下方向は最も小さい。これらのことから、初心者球出し形式の練習のような水準において、打球方向への移動による要領とすることはある程度に妥当と思われる。ただし、この打球方向への移動の前段階で、左右方向への移動の半分以上が生じていることは無視すべきではない。つまり、初めに飛来・打球線に対して接近し、その後打球方向へ移動する、順序ある要領が望ましいと考える。また、場合によって、上下方向の移動を抑える内容を加える必要もあろう。一方、ラケット重心の移動は、上下、左右、前後全ての方向に頂点のある、「ストローク」と表現することが可能な行程が見受けられる。最も変位が大きいのは、前後方向である。左右方向はそれに次いで大きく、上下方向は最も小さい。この順序は身体重心と同じである。ラケット重心の移動の詳細な行程を説明すると、「左足指離地」の前の時点で、まず、ラケットは上方、右方、そして、後方へ同時に移動する。これは、空間にある2点間を結んで最短距離を移動するかのような動きである。その後は「インパクト」までに、上下、左右、そして、前後方向の順番で明快な頂点が現れる。その中でも「インパクト」直前の左右方向において定置となる特徴は、重要と考える。要領の内容を、ラケットの操作は飛来・打球線の方において、上下方向の移動と前後方向の移動の時点計る内容とする必要がある。フォアハンド・ボレーの習得の難易性と関わる、ラケットの操作のメカニズムの精密さの一端が捕らえられたと思われる。そして、「インパクト」後には、ラケットは前方、左方、そして、上方へ同時に移動するが、頂点は現れない。これらの立体感のある特徴はフォアハンド・ボレーの動作が短時間で行われるが故に、そのまま全てを要領とすることは適切でない。例えば、「ラケットを先ず上下方向に調整して、左右方向は保って、飛来・打球線の前へ向ってコンパクトなストロークをする。」などの表現上の工夫をして、「インパクト」の時点計る合目的性としての動作に影響が出ないように配慮して、ストローク感を要領に組み込む必要があろう。模索的水準とは言えるが、「ラケットを振るな」と解説するよりはむしろ、丁寧であると思われる。

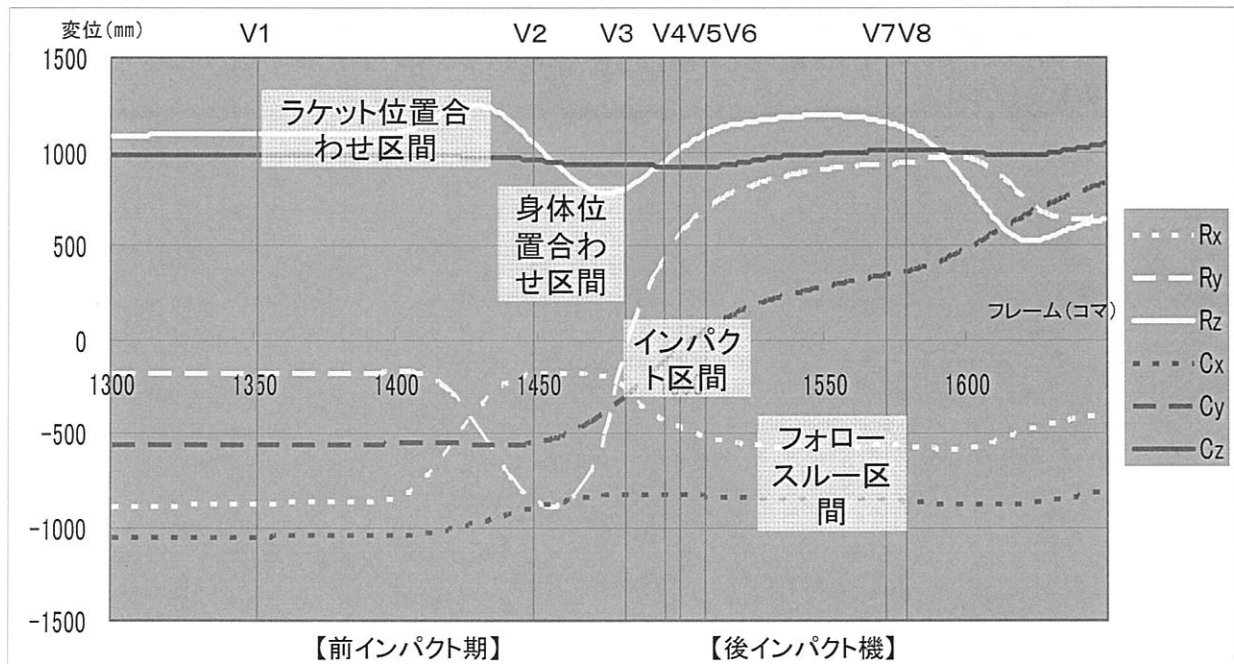
第2の、「インパクト」によって区分された【前インパクト期】と【後インパクト期】の期間における、プレーヤーの身体重心の座標成分の変位とラケット重心の座標成分の変位との関係性について、考察する。【前インパクト期】については、ラケット重心が「左足指離地」から「インパクト」まで左右方向において定置をとる間、プレーヤーの身体重心は右方への移動を続ける。ラケットの飛来・打球線に対する距離の調整が先行し、続いてプレーヤーの身体が調整されることが伺われる。そして、「インパクト」直前に、プレーヤーの身体重心の飛来・打球線の前方への移動に比較して、ラケット重心のそれは顕著に移動する。おそらく、プレーヤーはラケットを保持するだけではなく、若干の操作を行う可能性があるものと思われる。一方、【後インパクト期】については、「インパクト」直後から、ラケット重心は前方、左方、そして、上方へ同時に移動する。また、この間は、プレーヤーの身体重心は、左右方向へは定置をとって、前方へ移動する。プレーヤーは飛来・打球線の前への動きの中で、ラケットを空間にある2点間を結んで最短距離を移動させるように操作すると思われる。フォアハンド・ボレーの習得の難易性に関わる、ラケットの操作の複雑さの一端が捕えられた。そして、「右足指離地」から、プレーヤーの身体重心の移動、ならびに、ラケット重心の移動は、勢いが弱まる。フォアハンド・ボレーの動作の終盤は、ラケットの操作の後、右足をステップして収束すると考える。

第3の、特徴と関係性を俯瞰して、要領の基本性を示唆する視点について、考察する。フォアハンド・ボレーに関する重心の移動には、精密で複雑なストロークの行程の一端が捉えられた。前後の関係性や大小の関係性があることから、その内容には「順序・順番ある行程」の視点を備える必要がある。さらに、統一感ある用語によって、運動学的なデータから指摘される整合性ある内容で解説することは効果的な習得を促すと考える。



最後にフォアハンド・ボレーの要領として、1つのモデルを提示して終わりとしたい。8つの主要な事象とインパクトによる2つ期間、そして、順序・順番のある行程の視点から、4つの区間からなるストロークのモデルを考えた(図7)。「待球開始」と「左足指離地」前のRzの頂点までの【ラケット位置合わせ区間】、「左足指離地」直前からRxが一定値の頂点を示して、Cxが増加し続ける【身体位置合わせ区間】、「インパクト」付近から「右足指離地」まで、Rx, Ry, Rzが一斉に変化する【インパクト区間】、そして、Cx, Cy, Cz, Rx, Ry, Rz全ての変動が「右足指接地」に向って収束する【フォロースルー区間】である。これら区間と区間との境界は概ね主要な事象と一致している。しかし、動作にラケットの移動が存在することから、区間と区間の境界とは完全に一致するわけではない。さらにラケットの移動にのみ着目すれば、「待球開始」から「左足指離地」の区間、「左足指離」から「インパクト」の区間、そして、「インパクト」から「右足指接地」までを区間として、3つの区間で要領を解説することも可能と思われる。ただし、初めの4つの区間からなる要領はプレーヤーの身体重心とラケット重心の関係を含むもので、バランスの良さからはこちらが有用と考える。このモデルは右手が利き手のプレーヤーのフォアハンド・ボレーである。つまり、左手が利き手の場合には、左右の表現を逆にして適用する点に留意する必要があることを付け加えておく。

図7 重心に関する基本性による4つの区間



V1:待球開始 V2:左足指離地 V3:インパクト V4:左踵接地 V5:左足底接地 V6:右足指離地 V7: 左踵離地 V8:右足指接地

## 【結論】

本研究は、VICONを用いて、プレーヤーの身体重心の移動とラケットの重心の移動の特徴をまとめ、また、「待球開始」から「インパクト」を「前インパクト期」、「インパクト」から「右足指接地」を「後インパクト期」と命名した期間におけるそれらの座標成分水準の関係性を検討して、以下の結論を得た。

- ・ プレーヤーの身体重心は、「インパクト」付近で、飛来・打球線の前方向へ移動する。
- ・ ラケット重心は、「インパクト」直前から、飛来・打球線の前方向へ顕著に移動する。
- ・ ラケット重心は、「左足指離地」から「インパクト」まで、飛来・打球線に対して左右方向の定位置をとる。
- ・ 【前インパクト期】において、ラケット重心が左右方向の定位置を示す間、プレーヤーの身体重心

は右方へ移動する.

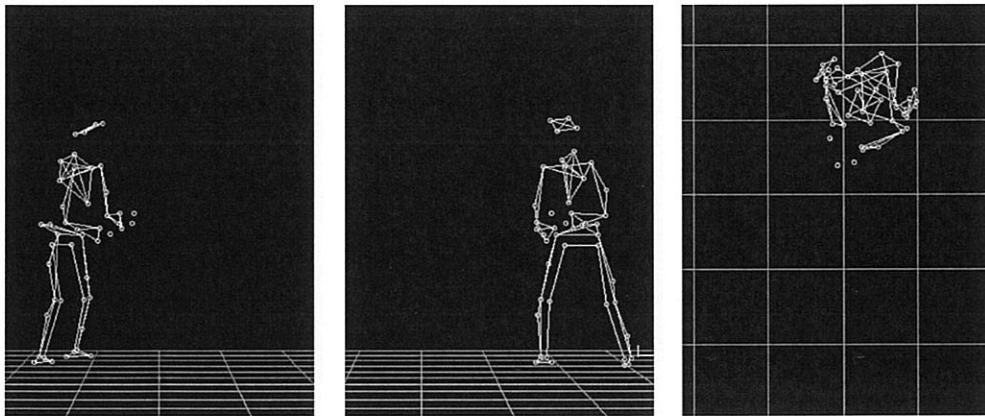
- ・) 【後インパクト期】の序盤において、プレーヤーの身体重心は飛来・打球線の前方に移動しながら、ラケット重心は飛来・打球線の前方、左方、そして、上方へ同時に移動する.
- ・) プレーヤーの身体重心の座標成分の変位とラケット重心の座標成分の変位には、順序と順番の関係性がある.

フォアハンド・ボレーの要領に、重心に関する運動学的な視点を備えて、効果的な習得を促す解説が可能となった. 今後も、重心の移動に関する研究を進めて、フォアハンド・ボレーの指導法の確立に貢献したい.

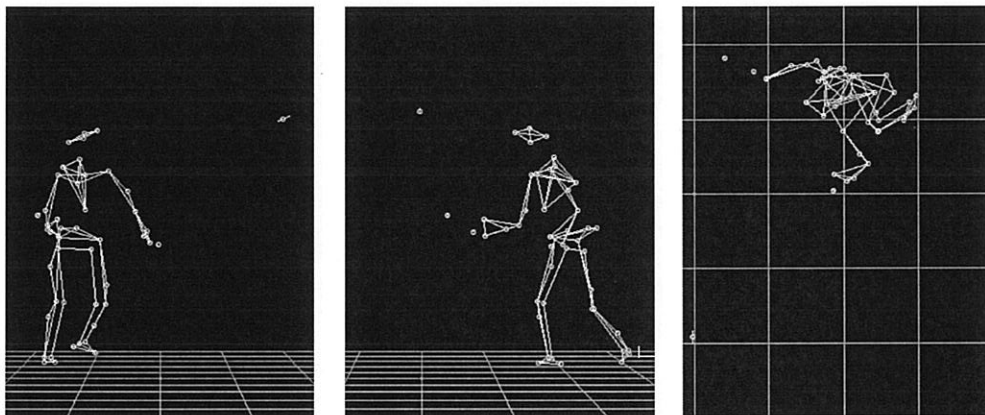
## 注

- 1) 山内公雄,「テニスの動作に関する研究2」,静岡大学教養部研究報告,自然科学篇,11,121-131,1975.
- 2) 山口公明,「テニス:スキルレベルによるフォアハンドボレー動作の違い」,広島体育学研究,24,41-48,1998.
- 3) 川崎修平他,「テニスバックハンドの動作解析」,Annual Report of Institute of Biomaterials and Bioengineering,38,28-31,2004.
- 4) 道上静香,「硬式テニス」,体育の科学50(6),463-469,2006.
- 5) 日本テニス協会,『新版テニス指導教本』,320頁,12,大修館書店,2005.
- 6) 鈴木貴男,『試合に勝つテニス—鈴木貴男のサーブ&ボレーレッスン』,144頁,12,実業之日本社,2008.
- 7) John Yandell,「VISUAL TENNIS 2<sup>nd</sup> edition」,182頁,Human Kinetics,1998.
- 8) 金子公宥・福永哲夫編,「バイオメカニクス」,320頁,杏林書院,2004.
- 9) 阿江通良・藤井範久,「スポーツバイオメカニクス20講」,514頁,朝倉書店,2002.
- 10) Donald A. Neumann, 島田智明平田総一郎監訳,「筋骨格系のキネシオロジー」,618頁,医歯薬出版,2005.
- 11) 岩本淳,「フォアハンド・ボレーにおける身体重心の移動の特徴—動作の主要な事象と鉛直方向の変位の関係—」,LIBERAL ARTS 第5号,3,25-35,2011.

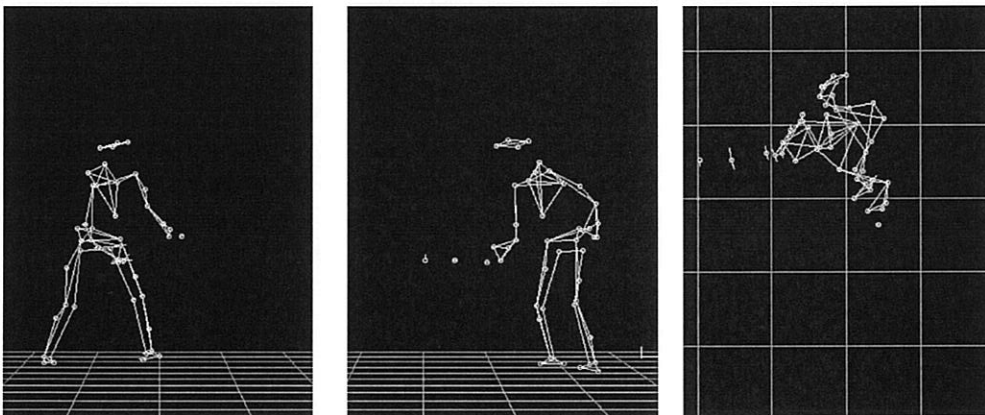
資料1 待球開始 (V1)



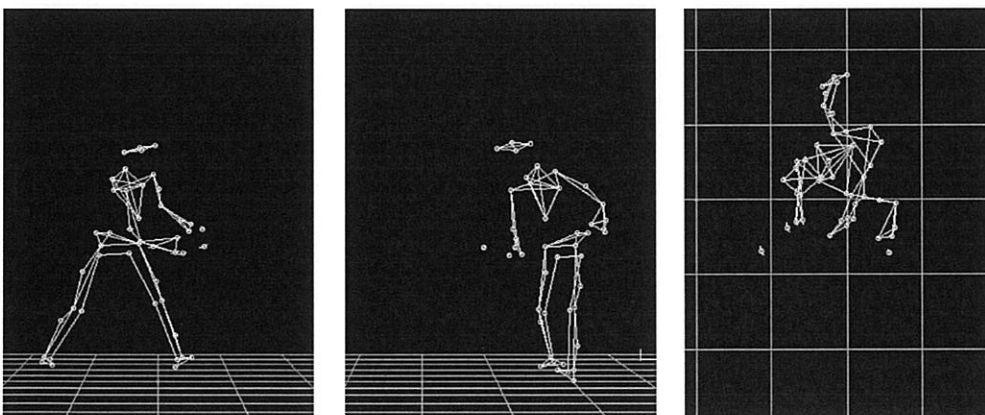
資料2 左足離地 (V2)



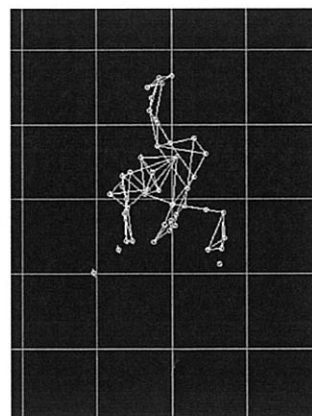
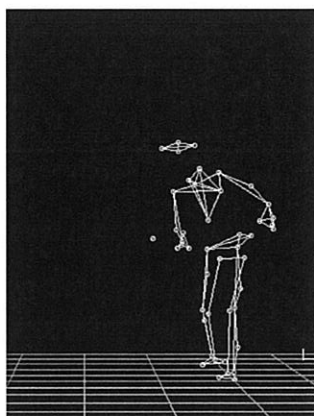
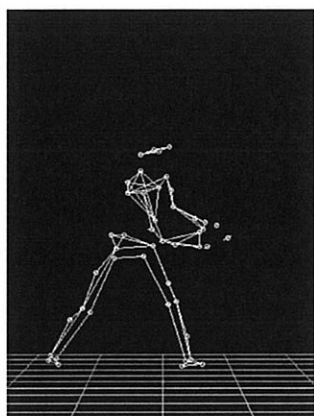
資料3 インパクト (V3)



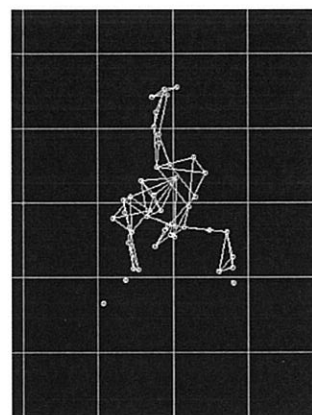
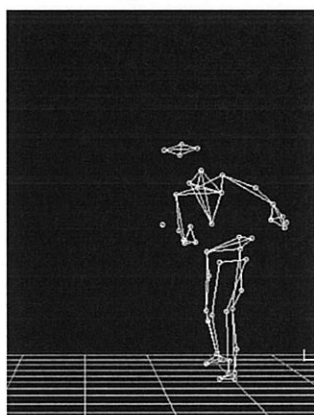
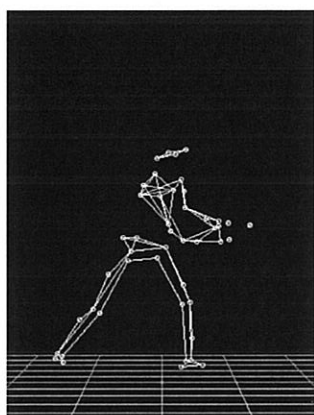
資料4 左踵接地 (V4)



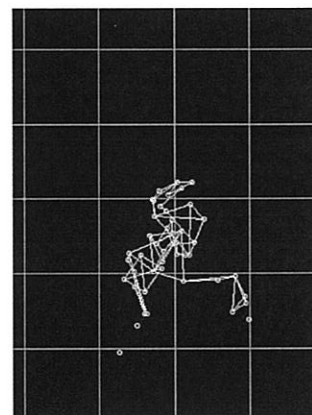
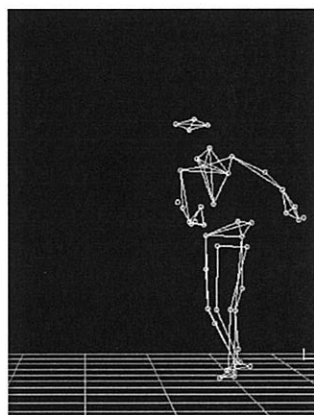
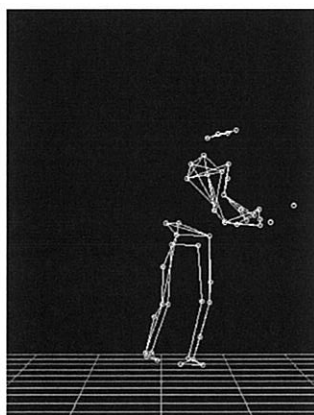
資料5 左足底接地 (V5)



資料6 右足離地 (V6)



資料7 左踵離地 (V7)



資料8 右足先接地 (V8)

